Ueber die

Wärmequellen und Wärmeökonomie

lebender Körper.

Inaugural-Dissertation

der

philosophischen Facultät der Universität Rostock

vorgelegt

vom

Dr. phil. G. E. Hugo Hertwig

aus Berlin.

Rostock.

Carl Boldt's Buchdruckerei.

1870.

Die Erscheinung, daß die höheren thierischen Körper selbst unter entgegengesetzten äußeren Temperaturverhältnissen z. B. einer tropischen Hitze und eines nordischen Winters, eine fast ganz gleiche Wärme der inneren Theile, oder als Ausdruck derselben „des Blutes" bewahren, hat von Alters her die Aufmerksamkeit der Forscher erregt. Linné hat auf diese Erscheinung einen so hohen Werth gelegt, daß er seine Haupt-Eintheilung der Thiere auf die Körperwärme gründete und danach 2 Hauptgruppen unterschied, warmblütige und kaltblütige Thiere. Wir werden im Verlauf unserer Betrachtung über das Verhalten der thierischen Wärme im lebenden Körper sehen, daß diese Bezeichnungen nicht ganz richtig, sondern durch andere zu ersetzen sind, wenn wir auch die 2 Gruppen selbst aufrecht erhalten.

Die Versuche, die Entstehung der Wärme im thierischen Körper zu erklären, verfehlten so lange ihr Ziel, bis Ant. Laur. Lavoisier das Geheimniß, das auf dem Processe der Verbrennung ruhte, gehoben hatte, bis er denselben als ein Verbinden chemischer Elemente mit Sauerstoff, also als einen Oxydations-Proceß, beweisfähig erklärt und ebenso bewiesen hatte, daß der Athmungsproceß auch nur ein Verbrennungsproceß sei, als dessen eigenste Wirkung und nie fehlendes Erzeugniß Wärme entsteht.

Sein Fundamentalbeweis hat noch jetzt vollste Giltigkeit, und wenn wir auch heute wissen, daß bei jeder chemischen Verbindung Wärme frei werde, so steht doch fest, daß in der ganzen Natur der bei weitem größte Theil der gebildeten Wärme seinen Ursprung in Oxydationsprocessen hat und daß im Verhältniß zu der daraus gebildeten Wärmemenge die auf anderem Wege entstandene eine zu seltene und zu geringe ist, als daß

sie in's Gewicht fallen könnte. Dasselbe ist auch mit der Entstehung der Körperwärme der Fall.

Die heutige Physik und Chemie erklären den Vorgang der Wärmebildung bei chemischen Prozessen folgendermaßen: Man denke sich 2 Molekule, z. B. ein Kohlenstoff- und ein Sauerstoffmolecul, die zu einander chemische Verwandschaft haben, Neigung haben, sich mit einander zu verbinden; so lange sie dieser Neigung zu folgen verhindert sind, besteht zwischen ihnen eine Spannung, oder mit anderen Worten, sie repräsentiren ein gewisses Maaß Spannkraft. Sobald jedoch das Hinderniß beseitigt ist, tritt als erste Wirkung eine Bewegung der beiden Molecule auf einander ein, die Vereinigung geht vor sich und die Spannkraft wird frei. Da sie sich jedoch unter den veränderten Verhältnissen nicht mehr als Spannkraft äußern, aber als Kraft doch nicht verloren gehen kann, muß sie sich als lebende Kraft äußern; dies geschieht in Form von Bewegung, Wärme oder Electricität. Diese 3 Formen können so ineinander übergehen, daß man genöthigt wird, Wärme und Electricität als eine bestimmte Form von Bewegung anzunehmen.

Reibt man z. B. 2 Stücken Holz aneinander, so geht ein Bewegungseffect durch die Reibungswiderstände verloren, es tritt aber dafür Wärme ein; ein Theil der Bewegung der Gesammtmasse geht in eine Bewegung kleinster Theile derselben über, die sich in erhöhter Wärme ausdrückt; außerdem werden die Holzstücken electrisch; es ist also auch ein Theil der Bewegung in Electricität umgesetzt.

Diese Hypothese über die Gleichartigkeit von Electricität und Wärme mit Bewegung giebt für eine große Reihe von Vorgängen in der Natur die Möglichkeit der Erklärung und des Verständnisses.

Wir behaupteten, daß die Oxydationsprocesse im Körper die Hauptquelle seiner Wärmeentwickelung sind. Der Hauptoxydationsproceß des thierischen Körpers ist der durch die Respiration herbeigeführte, und diesem würde somit der Haupttheil der Wärmeerzeugung anheimfallen. Dieser respiratorische

Proceß besteht in einer Einfuhr von Sauerstoff in den Körper und in seiner Verbindung daselbst mit den oxydablen Körperbestandtheilen: Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff. Der Sauerstoff wird mit der eingeathmeten atmosphärischen Luft in die Lungen gebracht, dort vom Blute (Haemoglobin) aufgenommen und mit diesem durch den Körper geführt, auf welchem Wege er sich mit den genannten Stoffen verbindet, nachdem er dieselben aus vorhandenen Verbindungen ausgelöst hat. Bei diesen Analysen wird wieder Sauerstoff der Körperbestandtheile frei, und mit in die Circulation und den Oxydationsproceß gezogen.

Die Oxydationsproducte werden in gasförmiger und flüssiger Form durch die Lungen, die Haut, in der Galle und dem Urin ausgeschieden, sind als solche meßbar und ihre Menge repräsentirt den Werth des im Körper vorgegangenen Verbrennungsprocesses.

Die Producte der Stickstoffverbrennung fallen nicht in's Gewicht, die des Kohlenstoffes und Wasserstoffes dagegen, die Kohlensäure und Wasser, sind für die Berechnung der Höhe des Wärmebildungsprocesses von hohem Werth, da, wenn die gebildete Wärme wirklich Product der Verbindung des Sauerstoffs der Luft mit den oben genannten Bestandtheilen des Körpers ist, zwischen der gebildeten Wärme und jenen chemischen Verbrennungsproducten ein ganz bestimmtes Verhältniß nachzuweisen sein muß. Dies ist auch in der That der Fall. Schon Lavoisier und Laplace haben mit Anwendung der Calorimetrie festgestellt, daß allein $^4/_5$ der Körperwärme durch die Verbrennung des Kohlenstoffs durch den Athmungsproceß entstehen; nach ihnen haben Dulong und Dupretz dasselbe gefunden. Nachdem sie auch den Wärmewerth des Wasserstoffs bestimmt hatten, gewannen sie die Ueberzeugung, daß die ganze dem Körper innewohnende Wärmemenge ihren Grund in der Kohlenstoff-Wasserstoffverbrennung im Körper habe, und daß man nicht nöthig habe, sich noch nach einer anderen Wärmequelle umzusehen.

Wir werden im Verlauf unserer Arbeit die speciellen Beweise dafür liefern, daß diese Ansicht der Wahrheit entspricht. Eine allgemeine Betrachtung des Wärmehaushaltes des thierischen Körpers und seiner Einnahmen und Ausgaben, um das Gleichgewicht in seiner Temperatur zu erhalten, mögen der specielleren Berechnung der wärmebildenden Factoren und der nothwendigen Wärmeverluste erklärend vorangehen.

Der Körper der höheren Thiere hat die Fähigkeit, durch Wärmebildung und Wärmeausgabe die Höhe seiner eigenen Temperatur trotz der verschiedensten Einflüsse von Außen her zu reguliren. Es ist eine in der That auffallende Erscheinung, daß in der Gluth des tropischen Sommers und in der Kälte des nordischen Winters die Körperwärme in den zugänglichen Körperhöhlen nur um etwa 1° C. differirt. Betrachten wir die Vorgänge im Körper, durch welche derselbe die feindlichen Einwirkungen der Außentemperatur compensirt.

Es ist ein bekanntes Factum, daß beim Uebergange eines Körpers aus einem flüssigen oder luftförmigen Aggregatzustand in einen dichteren, Wärme frei wird, und umgekehrt bei der Umwandlung eines dichteren Zustandes in einen weniger dichten, Wärme latent wird. — Wir haben Wärme für eine Bewegung erklärt, und gesehen, wie Bewegung verschwand und sich dafür Wärme bildete. So auch hier, und umgekehrt wird Wärme in eine andere lebende Kraft, in Bewegung verwandelt, muß also als Wärme latent werden. Dieses Gesetz findet beim Verdunsten Anwendung; außerdem hat das Verdunstete eine erhöhte Temperatur, die es der Masse, aus der es verdunstete, entzog.

So ist es auch beim Transspiriren und bei der Perspiration der Haut der Fall. Es wird durch die Verdunstung Wärme in Bewegung umgesetzt, Wärme dem Körper entzogen, und somit tritt eine Abkühlung desselben ein. Hierdurch ist dem Körper ein Mittel gegeben, den Einwirkungen einer höheren Außentemperatur entgegen zu wirken, da er sich durch die Hautausdünstung selbst Abkühlung verschaffen kann.

Je mehr Flüssigkeit durch das Verdunsten dem Blute entzogen wird, desto dickflüssiger wird dieses, und desto mehr Flüssigkeiten entzieht es nun selbst wieder den inneren Geweben; dadurch tritt aber bald in diesen das Bedürfniß nach Ersatz des Verlorenen ein, namentlich macht sich am Gaumen und an der Zunge ein specifisches Gefühl, ein Verlangen nach etwas Flüssigem bemerkbar, der Durst. Letzterer ist nun wieder, da er Veranlassung zur Zufuhr neuer und von Neuem zu verdunstender Flüssigkeit giebt, der natürliche Beförderer der Fortsetzung des Verdunstungs- und Abkühlungsprocesses.

Ist die Luft schwül, d. h. heiß und mit Wasserdünsten in reichem Maaße erfüllt, so nimmt sie wenig Feuchtigkeit auf und der Ausstrahlungs-, sowie der Verdunstungsproceß sind beide gehindert; es tritt also eine der hohen Temperatur gegenüber mangelhafte Compensation ein, und in Folge dessen ein unbehaglicher Zustand des Körpers, selbst der Tod durch Schlagfluß. Ist jedoch die Luft trocken und höher temperirt, als die Blutwärme, so ist die Transspiration eine bedeutende, die Abkühlung eine dementsprechende.

Den Lehren, die sich aus den Beobachtungen derartiger Erscheinungen am Körper bei Einfluß hoher oder niedriger Temperatur ziehen lassen, folgen wir in unserem Leben bewußt und unbewußt, und ihnen entsprechend sind die Haushaltungen und Lebensweisen der verschiedenen Völker in den verschiedenen Klimaten eingerichtet. Der Südländer nimmt, um der Hitze zu begegnen, Stoffe zu sich, die zur schnelleren Verdunstung beitragen und wenig Kohlenstoff enthalten, dem Verbrennungsproceß also wenig Nahrung bieten, um auf diese Weise einmal weniger Wärme selbst zu erzeugen, und zweitens, um durch schnelle Verdunstung mehr Wärme zu verlieren. —

Die entgegengesetzten Verhältnisse finden bei den in kalten Ländern lebenden Menschen und Thieren statt.

Der Polarländer muß der kalten Luft seinen Tribut zahlen und mehr Wärme an diese abgeben, als dieses in einem wärmeren Klima geschieht und nothwendig ist. Er ist deshalb

gezwungen, mehr Wärme zu entwickeln und dieselbe durch Herabsetzung der Ausstrahlung zu erhalten.

Das Erstere erreicht er durch einen erhöhten Verbrennungsproceß, das Zweite durch schützende Kleidung. Um die Verbrennung im Körper zu erhöhen, ist der Mensch dort gezwungen, mehr brennstoffhaltige Nahrung zu sich zu nehmen, größere Mengen Speisen und in denselben mehr Kohlenstoff und Wasserstoff zu genießen. Um zu oxydiren, macht sich ein größeres Sauerstoffbedürfniß geltend, in Folge dessen findet ein beschleunigteres und tieferes Athmen statt, und tritt dann einige Zeit nach beendeter Verbrennung von Neuem ein gesteigertes Nahrungsbedürfniß ein, der Hunger. Hieraus läßt sich erklären, warum die in Polargegenden wohnenden Menschen so enorm große Mengen von Nahrungsmitteln verzehren; es geschieht dieses nicht aus Unmäßigkeit, sondern es ist die reine, durch die niedrige Temperatur bedingte Nothwendigkeit. Derselben Nothwendigkeit unterliegen auch wir in gemäßigten Klimaten bei kalter Temperatur. Barral hat an sich selbst bei 0,5° C. im Winter und bei 20° C. im Sommer Beobachtungen über diese Thatsachen angestellt, aus denen hervorging, daß er in der kälteren Jahreszeit täglich 192,7 Gramme fester Nahrung mehr als in der wärmeren verzehrte, von den 101,3 Gramme Kohlenstoff und 14,5 Gr. Wasserstoff waren, und Liebig[1]) giebt in Folge seiner Berechnungen aus den Haushaltungsbüchern des Landes an, daß im Winter circa $^1/_8$ mehr verzehrt wird, als im Sommer. Der Gesättigte hat in den genossenen Speisen einen Schutz gegen die Kälte, der Hungernde unterliegt ihren Einflüssen leichter. Es bestätigen auch die Beobachtungen an hungernden Thieren, bei denen die Temperatur abnimmt, diese Erfahrungen. Die Versuche an Tauben ergaben, daß die Temperatur bei denselben Nachts im Schlafe stets um einige Grade sinkt, bei hungernden aber noch um 2 bis 3 Grad mehr, als bei den übrigen. Die Versuche Nasse's an Hühnern beweisen ebenfalls eine verhältnißmäßige Uebereinstimmung der genossenen

---

[1]) Niemeyer's Eigenwärme.

Nahrung mit der danach entwickelten Wärmehöhe, und es geht aus ihnen hervor, daß die Menge der von den Thieren freiwillig, bei Ueberfluß an Futter aufgenommenen Nahrung, die der Masse nach bei verschiedener Kost sehr verschieden ist, hauptsächlich bestimmt wird nach der Menge der Wärme, welche dieselbe zu bilden im Stande ist. In der Kälte ist der Herzschlag und Puls kräftiger, daher die Circulation lebhafter, das Athmen, wie bereits erwähnt, tiefer und schneller, denn die kalte Luft ist dichter, daher der Sauerstoffgehalt ein concentrirterer, wenn auch die eingeathmete Luft in den ersten Luftwegen durch Erwärmung wieder etwas ausgedehnt wird. Der Kohlensäurebildungsproceß muß also ein lebhafterer sein. Vierordt und Letellier haben dieses durch Experimente nachgewiesen. Die von ihnen angestellten Messungen der bei 0° und 20° C. ausgeathmeten Kohlensäuremengen ergaben nämlich, daß innerhalb dieser Temperaturgrenzen mit jedem Wärmegrade C. mehr der Kohlensäuregehalt in einer bestimmten Menge ausgeathmeter Luft um 0,0183 sank, und in einer Minute die ausgeathmete Kohlensäure sich um $1\frac{1}{2}$ % verminderte, daß also zwischen der Außentemperatur und der Menge der gebildeten Kohlensäure ein grades Verhältniß obwaltet.

Es ist also der Cyclus des Stoffwechsels und Verbrennungsprocesses in der Kälte folgender: Mehr Kohlenstoff- und Wasserstoffverbrennung, daher mehr Bedarf an Kohlenstoff- Wasserstoff und Sauerstoff, also mehr Nahrungszufuhr, stärkeres Athmen, vermehrte Kohlensäure- und Wasserausscheidung und als End-Resultat vermehrte Wärme.

Während nun der Südländer in seinem warmen Klima eine leichte Kleidung trägt, die durchlassend ist und der Haut-Ausdünstung freien Spielraum gewährt, sucht der Nordländer sich mit dicker Kleidung, mit schlechten Wärmeleitern, zur Bewahrung seiner Wärme vor Abkühlung zu schützen. Die kalte Temperatur entzieht dem Körper Wärme; derselbe erleidet also einen größeren Wärmeverlust; die schlechten Wärmeleiter, mit denen sich nun der Mensch umgiebt, bilden um ihn einen Wärmekreis, an welchen, je nach der Temperatur desselben,

der Körper eine größere oder geringere Wärmeabgabe zu leisten hat.

Die dichten Kleider, die Pelze wärmen an sich nicht den Körper, sie selbst müssen vielmehr erst durch diesen erwärmt werden, aber sie halten die einmal gebildete und ausgestrahlte Wärme zusammen, indem sie die Ausstrahlung mäßigen.

Der Polarbewohner schützt sich vor der Kälte durch das Tragen von Fellen und durch das Zusammenleben von vielen Wärme erzeugenden Individuen in kleinen Räumen; jeder Körper giebt so lange Wärme an diesen kleinen Raum ab, bis derselbe erwärmt ist; dann mindert sich die Wärmeabgabe Seitens der Individuen.

Durch die Erwärmung der umgebenden Luft tritt ein Sparen der Körperwärme ein, und je besser wir unseren Aufenthaltsräumen künstlich eine uns zusagende Temperatur verleihen, desto mehr kommen wir dem Proceß der Wärmebildung im Körper entgegen, er braucht weniger Wärme abzugeben, also auch weniger zu bilden. Das wissen auch die civilisirten Völker des Nordens sehr gut, denn gerade bei ihnen sind die Heizvorrichtungen am vollkommensten hergestellt.

Wenn nun in der Hautausdünstung ein Schutz gegen die Einwirkung der Hitze gegeben war, so besitzt die Haut auch gegen die Kälte einen Schutz in ihrer Empfindlichkeit, die eine Zusammenziehung derselben veranlaßt, wodurch die sogenannte Gänsehaut entsteht. Bei dieser ist die mit allen ihren Fasern und Gefäßen zusammengezogene Haut, da der Blutgehalt geringer, der Blutwechsel ein langsamerer geworden, ein schlechter Wärmeleiter; und wenn nun auch ihre eigene Temperatur eine niedere ist, so hilft sie doch die innere Wärme auf ihrer Höhe erhalten. Unterstützt wird dieser Vorgang durch einen anderen schlechten Wärmeleiter, nämlich das unter der Haut liegende Fett. Ein fetter Mensch giebt auch weniger Wärme an seine Umgebung ab, er kann seine Wärme mehr bewahren und friert daher auch weniger leicht, als ein magerer.

Bei den warmblütigen Thieren tritt mit dem Wechsel der kalten und warmen Jahreszeit eine den Verhältnissen derselben

entsprechende, veränderte Beschaffenheit der Hautbedeckung ein; das Pelz- und Federkleid dieser Thiere nimmt im Herbst eine größere Dichtigkeit an, welche bei Beginn des Sommers durch Ausfallen der Haare und Federn verschwindet. Im Winter bei gehöriger Nahrung vermehrt sich auch das Fettlager unter der Haut; die Thiere der kalten Zone sind auch reichlicher damit versehen, als die der heißen Zone. Es sorgt also die Natur in dieser Weise durch ein Zurückhalten, resp. Abgeben von Wärme zu rechter Zeit dafür, daß die Thiere weder im Sommer den Einwirkungen der Hitze, noch im Winter denen der Kälte zu sehr unterliegen.

Diesen Erfahrungen setzte man den Umstand entgegen, daß die Winterschläfer eine eigene Körperwärme besitzen, während ihr Athmungsproceß angeblich stille steht. So giebt Laissy an, daß nach seinen Beobachtungen bei 0 Grad Hasel- und Fledermäuse keinen Sauerstoff mehr einathmen; ferner Spallanzani, das bei 9° R. die Kohlensäureausscheidung aufhörte. Nach Marschall Hall verbrauchen die genannten Thiere bei + 3,6 bis 4 Grad R. im Winterschlaf noch $^1/_{120}$ der Luftmenge, die sie im Wachen verbrauchen und Spallanzani giebt an, daß die Fledermäuse bei — $3^1/_2$° R. doch noch etwas Kohlensäure aushauchen.

Die Winterschläfer hungern während der Zeit des Schlafes. Bei hungernden Thieren werden aber die Functionen der einzelnen Organe, und daher das Bestehen des Körpers einige Zeit hindurch auf Kosten seiner eigenen Substanzen durch Resorption schmelzbarer Stoffe unterhalten. Die Functionirungen sind dadurch bedeutend herabgesetzt. Bei Hungernden, sowohl bei Thieren, wie bei Menschen, werden die Pulse und Athemzüge seltener, der respiratorische Gaswechsel nimmt bedeutend ab, und zwar weniger die Sauerstoffabsorption, als die Kohlensäureausscheidung in Folge der starken Oxydation des Körperfettes. — Bei den Winterschläfern schwindet dies nun stark; es steht auch der Herzschlag während des Winterschlafes nicht still; also hört auch nicht die Blutbewegung auf, und es muß daher auch angenommen werden, daß ein, wenngleich nur

schwacher Gasaustausch zwischen der atmosphärischen Luft und dem Körper auch denn geschieht, wenn keine Athembewegungen sichtbar sind. Durch diesen Umstand ist die Wärmeerzeugung der Winterschläfer erklärlich, zum Theil aber auch dadurch, daß die hungernden Thiere sich ruhig verhalten, und deshalb, sowie wegen der Trockenheit ihrer Haut einen geringen Wärmeverlust erleiden. Im Ganzen ist jedoch die Temperatur der Winterschläfer eine sehr geringe und nur im Inneren derselben erkennbar. Die genannten Beobachter geben dieselbe an den äußeren, aber durch das Zusammenkauern geschützten Theilen auf 4° C. an.

Dem Verhalten der Wärme der Winterschläfer ähnlich ist das der Eier der Vögel und Schlangen.

So lange diese Eier nicht bebrütet sind, befinden sie sich, wie jene Thiere, in einem Zustande relativer Ruhe. Sie be-

---

Bei verhungerten Thieren wies Chossat folgende Gewichtsverluste nach: das Fett war um $^9/_{10}$ seines Gewichtes verschwunden, (nach Kölliker schwindet nur der Inhalt der Fettzellen, während diese selbst erhalten bleiben), die Milz um $^7/_{10}$, das Pankreas und die Leber um $^5/_{10}$, das Herz, Muskeln, Nahrungscanal um $^4/_{10}$, Nieren um $^3/_{10}$, Athmungsorgan um $^2/_{10}$, während die Verminderung der Blutmasse enorm ist. Bidder & Schmidt berechneten bei einer durch Hungertod gestorbenen Versuchskatze einen Verlust von

204	Grammes	Eiweißstoffen,
133	„	Fetten,
10	„	anorganischen Bestandtheilen,
und 1000	„	Wasser, oder in Prozenten
39	Prozent	Eiweißkörper
$4^1/_2$	„	anorganischen Bestandtheilen,
58	„	Wasser
37	„	festen Bestandtheilen,

während das Fett gänzlich geschwunden war. Ein Theil dieser Stoffe ist hierbei der Art geschmolzen, daß sie unmittelbar der Ausscheidung anheimgefallen sind, ein anderer Theil aber ist unverändert in die Blutmasse getreten und hat zur Erhaltung einzelner Organe gedient, ehe er zur Ausscheidung gelangte. So ist denn auch ein Theil zur Verbrennung durch den Athmungsproceß verwendet worden, welcher unter diesen Umständen wohl in sehr vermindertem Grade stattfindet, und also auch von verminderter Wärmeerzeugung begleitet ist. —

sitzen einen gewissen Grad von Eigenwärme, den sie sich, gegen die geringere Temperatur der sie umgebenden Stadien, einige Zeit erhalten.

Bei den Versuchen von Volkmann erfroren im Wasser von — 8 Grad keimfähige Hühnereier, nicht als dieses fror, sondern erst nach $1^3/_4$stündigem Liegen in demselben, während ein getödtetes Ei schon nach $1^1/_4$ Stunden gefriert.

Wenn dagegen die Eier von einem schlechten Wärmeleiter umgeben sind, ist der Verlust an Wärme ein geringer, und es ist selbst eine in ihrem Innern entstehende Wärmeerhöhung nachweisbar. Dieselbe beruht auf einem Stoffwechsel, der in ihnen stattfindet, wenn sie mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommen; sie nehmen ebenfalls Sauerstoff auf und hauchen Kohlensäure und Wasserstoffgas aus, in Folge dessen auch Wärmeentwickelung stattfindet, wie dieses die Beobachtungen von Valenciennes erweisen. Bei diesem Stoffwechsel entsteht auch eine Volumenverminderung des Eiweißes in den Eiern, so daß dasselbe sich nach und nach vollständig von dem stumpfen Ende der Schaale zurückzieht, und hierdurch ein mit Luft gefüllter Raum entsteht. Die in diesem Raume befindliche Luft ist sauerstoffreicher, als die atmosphärische Luft und zwar enthält sie nach Bischoff 0,22—0,245, nach Dulk 0,25—0,27 Volumenprocente vor dem Anfange der Bebrütung; während derselben aber nimmt der Sauerstoffreichthum dieser Luft ab, und macht sich dafür ein größerer Kohlensäuregehalt, circa 6 %, bemerkbar.

Réaumur und Viborg hatten schon gefunden, daß sich Eier ohne Zutritt der Luft nicht entwickeln, z. B. wenn sie mit einer Wachsschicht überzogen sind. Ebenso haben von Viborg und von Schwann angestellte Versuche ergeben, daß befruchtete Eier in irrespirablen Gasen nicht entwickelungsfähig sind, bereits bebrütete aber, wie Martin de St. Ange und Baudrimont festgestellt haben, sich in Kohlensäure und Wasserstoff höchstens noch drei Tage weiter entwickeln, und daß dann, falls es zur Bildung von Blutgefäßen kommt, das Blut in denselben keine rothe Farbe besitzt.

Bei den sogenannten kaltblütigen Wirbelthieren ist der Athmungsproceß wie der Kreislauf ein mangelhafter im Verhältniß zu dem der höheren, warmblütigen Wirbelthiere; namentlich ist bei ersteren der Blutumlauf bedeutend unabhängiger vom Athmungsprocesse.

Alle Kriechthiere athmen langsam und können Luft sehr lange entbehren, gelegentlich pumpen sie sich die große Lunge voll Luft und zehren von dem verschluckten Sauerstoffgas, langsam die Athmungsproducte wieder abgebend; ihr Herz sendet nur einen Theil des Blutes nach den Lungen, während ein anderer Theil desselben, der mit den Athmungsorganen gar nicht in Berührung gekommen ist, sich im Herzen mit dem angesäuerten Blute mischend, von diesem Organe aus direct in den Körperkreislauf zurückgeführt wird.

Bei den Fischen ist die Athmung ebenfalls eine mangelhafte. Die Kiemen sind nur ein wenig ausgebildeter Athmungsapparat und ebenso enthält das Wasser relativ wenig Sauerstoffgas beigemengt, es gehört daher das Verschlucken einer bedeutenden Menge Wasser dazu, um mit den wenigen Lufttheilen das Athmen zu unterhalten; dabei geschieht das Athemholen selten, unterbrochen, der Kreislauf ist in Folge des einkammerigen Herzens und der geringen Blutmenge langsamer. Alle diese Umstände bewirken einen nur geringen mangelhaften Verbrennungsproceß im Blute, eine unvollständige Decarbonisation, mithin eine geringe Wärmebildung.

Treviranus und Joh. Müller haben eine Reihe von Beobachtungen über den Athmungsproceß in den 4 Wirbelthier-Klassen angestellt und die Carbonausscheidung in einer bestimmten Zeit auf gleiche Gewichtsmengen des Körpers reducirt.

Vierordt giebt in Wagner's Handbuch, Th. 2. S. 359, folgende kurze Uebersicht:

100 Grammes Körpergewicht liefern Kohlenstoffe in 24 Stunden.

Schleihe (Humboldt und Provencal)	0,024 =	1
Frosch (Marchand)	0,087 =	4
Mensch (Scharling)	0,092 =	12
Taube (Boussaingault)	2,742 =	114.

Diese Zahlen, welche man als Respirationswerthe bezeichnen kann, entsprechen ungefähr dem Nahrungsbedürfniß des Menschen und der genannten Thiere in den mittleren Temperaturen der umgebenden Medien; eine Taube verzehrt ungefähr 10 Mal mehr Nahrungsstoff auf gleiche Gewichtstheile ihres Körpers berechnet, als ein Mensch.

Der geringen Athmung entspricht eine geringe, wenigstens langsame Verdauung der kaltblütigen Thiere; sie können daher auch nicht viel Brennmaterial auf einmal dem Athmen zuführen.

Bei den wirbellosen Thieren ist der Verbrennungsproceß ein sehr lebhafter, — Maikäfer und Raupen verbrauchen auf gleiche Gewichtstheile Körper ebensoviel Sauerstoff, wie ein erwachsener Mensch, und dennoch ist ihre Körperwärme kaum etwas über die Temperatur ihrer Umgebung erhöht.

Diese Thatsache scheint der Wärmebildungstheorie durch Verbrennung im Körper entgegen zu stehen; dem ist jedoch nicht so, wie aus dem Folgenden hervorgeht:

Während nämlich bei den warmblütigen Thieren Kälte einen lebhafteren Verbrennungsproceß mit vermehrter Kohlensäure und Wärmebildung hervorruft, die Wärme aber diese Processe herabsetzt, und die Verdunstung befördert, und der Körper eine Compensation gegen die Einwirkung der Temperaturen stattfinden läßt; sind die kaltbütigen Thiere theils ohne, theils fast ohne Compensationsvermögen, und dem directen Einfluß der Temperatur unterworfen. Erhöht sich die Außentemperatur, so nimmt die Energie des Athmungsprocesses bei den kaltblütigen Thieren in bedeutendem Maße zu, wie dies folgende Beobachtungen von Treviranus beweisen:

Eine Honigbiene excernirte bei 22° R. fast drei Mal mehr Kohlensäure als bei $11\frac{1}{2}$ Grad (1 : 2,8); bei 15° excernirten Steinhummeln $5\frac{1}{2}$ Mal so viel Kohlensäure, als bei $12\frac{1}{2}$°

(1 : 5½); bei Erdhummeln verhielten sich die ausgeschiedenen Kohlensäuremengen bei 9—12° R. einerseits und 14 : 23° andererseits wie 1 : 8; bei Libellen waren diese Verhältnisse bei 14½—16½° einerseits und 16½—17° anderseits wie 33 : 37; bei Gartenschnecken bei 11½—15° und 13½—16° wie 1 : 1½, dabei steigt die Temperatur dieser Thiere bedeutend, und einige kaltblütige Thiere können in Hinsicht der Wärme warmblütigen Thieren im Verhältniß gleichkommen.

Setzt man z. B. Frösche einer erhöhten Temperatur aus, so kann ihre Körperwärme in einer halben Stunde um 6—10° C. zunehmen.

Diese erhöhte Athmungs-Ausscheidungs- und Wärmebildungsthätigkeit sinkt bei längerer Dauer der Temperaturerhöhung der Umgebung allmälig wieder herab, weil es an entsprechender Zufuhr von Brennmaterial für den erhöhten Bedarf durch die Verdauung mangelt, wenn dieselbe auch etwas vermehrt ist; sofort aber sinkt die Körpertemperatur, wenn die Thiere aus der höher temperirten Umgebung entfernt werden. Es hört dann der vermehrte Hautreiz und mit ihm die Steigerung des Athmungs- und Wärmebildungsprocesses auf, während die Wärmeabgabe größer wird. Die Größe der Wärmeabgabe ist es eben auch, welche die Temperatur des Insectenkörpers trotz der enormen Kohlensäure-Bildung so sehr herab drückt, daß man diese Thiere als kaltblütige bezeichnet hat. Der Körper der Thiere ist klein und schon diese Kleinheit ist der Außentemperatur gegenüber Grund genug, daß die Insekten und viele andere kaltblütige Thiere, selbst wenn sie die Organisation der warmblütigen hätten, nicht dieselbe Körperwärme besäßen, wie diese; nun haben sie aber nicht dieselbe Organisation, sondern der Körper der Insecten ist vollständig durchzogen von einem mit der äußeren Luft in Verbindung stehenden und diese mit den inneren Organen und mit jedem Molecul Körpersubstanz in unmittelbare Berührung bringenden Tracheennetz, durch welches die der Luft gebotene Oberfläche vermehrt und ein Abkühlungsapparat geschaffen ist, der dem Körper mehr Wärme entzieht, als auf gleiche Theile

den warmblütigen Thieren entzogen wird. Es kann daher der Körper trotz reger Athmung nur wenig eigene Wärme haben. Die Letztere ist bei dem einzelnen Individuum allerdings schwer nachweisbar, jedoch durch eine Mehrung der Individuen in einem kleinen Raume tritt auch eine Addition der Wärmeausstrahlung ein, welche leicht meßbar ist. So fand Juch bei — 22° R. in der Mitte eines stark bevölkerten Bienenstockes eine Wärme von 5° und in einem Ameisenhaufen bei kühler Außentemperatur, z. B. von 10°, die Innenwärme 16° R.

Bei den niederen Wirbelthieren kommt zu der geringen Wärmebildung der Mangel einer, die Wärme gehörig zusammenhaltenden Körper-Bedeckung, ferner bei denen, die eine feuchte Oberfläche haben, die fortwährende Verdunstung auf derselben und die dadurch bedingte Abkühlung; sowie bei den Thieren, die ihren Aufenthalt im Wasser haben, eine Wärmeabgabe, die ungleich bedeutender ist, als die von den in der Luft lebenden Wesen.

Wir sehen, daß dieselben chemischen Processe, welche bei den warmblütigen Thieren die Erzeuger der Wärme waren, auch bei den kaltblütigen die Ursache der Körperwärme sind, und daß nur in der Organisation bedingte Umstände, sowie die geringere Masse der kleineren Thiere eine geringere Widerstandsfähigkeit und dadurch das Ueberwiegen des Einflusses der äußeren Temperatur über die Körpertemperatur bedingen. Jedenfalls haben diese Betrachtungen zu dem Ergebniß geführt, daß die sogenannten Kaltblüter keine Kaltblüter im wahren Sinne des Wortes sind, sondern daß unter Umständen ihr Blut nichts weniger als kalt ist. Professor Bergmann in Rostock hat ihnen daher treffend den Namen „Wechselwarme Thiere“ gegeben, und dementsprechend die beiden höheren Wirbelthierklassen, weil sie unter den verschiedensten Verhältnissen einen fast constant gleichen Wärmegrad sich zu erhalten vermögen, „Gleichwarme“ genannt.

Auch bei Pflanzen finden wir eine Wärmeentwickelung, die zwar meist nur gering ist, in manchen Fällen aber doch

die der umgebenden Temperatur übersteigt, mithin Product einer inneren Thätigkeit sein muß. Was ist dies nun für eine Thätigkeit?

Zur Beantwortung dieser Frage kann man wohl am besten durch Betrachtung der Vorgänge gelangen, bei denen notorisch eine höhere Wärme in den Pflanzen erzeugt wird, wie das namentlich bei dem Processe des Keimens und Blühens der Fall ist. Beim Keimen von Saamen wird durch Zersetzung der stickstoffhaltigen Bestandtheile das Stärkemehl in Dextrin und Zucker umgewandelt. Diese Umwandlung ist verbunden mit einer Aufnahme von Sauerstoff aus der Atmosphäre und einer Abgabe von Kohlensäure an dieselbe.

Also ein gleicher Vorgang, wie beim Athmen. Hierbei steigt die Temperatur des Saamens.

Es ist freilich nur durch Hülfe ganz feiner Apparate, wie des Thermomultiplicators möglich, die Erhöhung der Temperatur einzelner größerer keimenden Saamen zu constatiren; jedoch wird durch Addition die entstehende Wärme mitunter selbst der bloßen Hand fühlbar, ja sie kann sich sogar bis zur Entzündung des Saamenhaufens steigern. Keimendes Malz z. B. in Haufen gebracht, entwickelt einen so hohen Wärmegrad, daß zur Abkühlung auf + 20° R. die Körner umgeschaufelt und aus einander gebreitet werden müssen. Ebenso findet in den Blüthen gewisser Pflanzenarten z. B. von Aroideen (Arum cordifolium, Dracunculus, maculatum und italicum), ferner von Caladium pinnatifidum, der Calla aethiopica und einiger Cucurbitaceen, eine bedeutende Wärmeentwickelung statt. Einige dieser Pflanzen zeigten in ihrem Blüthenkolben eine Erhöhung von + 1—3° R. über die Temperatur der Luft. Verbunden ist auch dieser Wärmebildungsproceß mit einer massenhaften Absorption von Sauerstoff aus der Luft und verhältnißmäßiger Kohlensäureabgabe, vorzüglich in den auch am stärksten erwärmten Blüthenkolben und Staubgefäßpartieen; der Blüthenkolben von Arum italicum z. B. verschluckt täglich das dreifache seines eigenen Gewichtes von Sauerstoff.

Diese Beobachtungen beweisen umsomehr die selbstständige Wärmeentwickelung im lebenden (hier pflanzlichen) Organismus, als bei den Pflanzen zu anderen Zeiten und an anderen, als den eben erwähnten Theilen, ein anderer Athmungsproceß ohne nachweisbare Wärmeentwickelung vor sich geht, indem nämlich unter Einwirkung des Lichtes Kohlensäure aufgenommen und Sauerstoff ausgehaucht wird. —

Nachdem wir gesehen, daß überall, im Thierreich, wie im Pflanzenreich, die Oxydation von Kohlenstoff, resp. Wasserstoff die Ursachen erhöhter Temperatur sind, werden wir beweisen, daß durch diese Processe die ganze gebildete Wärme des Organismus erklärt werden kann. Die Ersten, die diesen Beweis versuchten, waren Lavoisier und Laplace. Sie suchten dazu die Wärmewerthe des Kohlenstoffes und Wasserstoffes zu bestimmen. Der Wärmecoefficient des Wasserstoffes wurde in Folge ihrer Versuche auf 21,375 festgestellt, doch ist er sicher höher und wurde auch später von ihnen selbst auf 23,400 in runder Summe angenommen, d. h. sie stellten fest, bei seiner Verbindung mit Sauerstoff ist ein Gramme Wasserstoff im Stande 23,400 Gr. Wasser um 1° C. zu erwärmen, oder 23,400 Wärmeeinheiten zu erzeugen.

Diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um 1 Gramm Wasser um 1° C. zu erwärmen, bezeichnet man als Wärmeeinheit oder Calorie. Lavoisier und de la Place nehmen bei ihren Berechnungen einen zu geringen Wärmeverbrauch für das Schmelzen des Eises an.

Nach Despretz war der Wärmecoefficient des Wasserstoffes 23,640, nach Dulong, der übrigens mit den von Lavoisier gefundenen Zahlen rechnete, 34,444. Dieser Summe nähern sich auch die Berechnungen der neueren Forscher; so bestimmte Heß sie auf 34,743—34,792, Grossi auf 34,666, Andrews auf 33,808, Favre und Silbermann auf 34,462.

Dieser letztere Werth verdient das meiste Vertrauen, weil einmal die beiden Forscher die vollkommensten Apparate hatten, die sämmtlichen früher festgestellten oder angenommenen Zahlen von Neuem geprüft haben, und 3., weil sie das

bei der Verbrennung gewonnene Wasser mit der Wage bestimmten, während die früheren Forscher das zur Verbrennung verwandte Wasserstoffgas volumetrisch maßen. Noch mehr Schwierigkeiten bot die Berechnung des Wärmewerthes des Kohlenstoffes, da derselbe je nach seinem Vorkommen und seinen Verbindungen notorisch verschieden ist.

Dulong und Desprez bestimmten ihn zuletzt auf 7,860 bis 7,912, — Liebig auf 8,558, die Verbrennungswärme des ölbildenden Gases zu Grunde legend; ähnliche Unterschiede zeigen auch die Berechnungen des Wärmecoefficienten des Kohlenstoffes aus Holzkohlenverbrennungen; Favre und Silbermann nahmen ihn zu 8,080, Andrews zu 7,678 und 7,881 an.

Die ungefähre Menge des in 24 Stunden vom Körper verbrauchten Sauerstoffes ist 746 Grammes, der ausgeathmeten Kohlensäure 876 Grammes; diese letzteren enthalten 636 Grammes Sauerstoff, 110 Grammes des eingeathmeten Sauerstoffes sind also nicht zur Kohlensäurebildung verwandt. Diese müssen daher zur Wasserbildung verbraucht sein.

Da nun der Kohlenstoff nach Favre den Wärmecoefficienten 8,080 hat, so würde die Wärme, die innerhalb 24 Stunden aus der Verbrennung des ca. 240 Grammes oxydirten und in der Ausathmungsluft ausgeschiedenen Kohlenstoffes im Körper entsteht, 1,934,200 Wärmeeinheiten betragen; die 110 Grammes Sauerstoff, die sich im Körper mit Wasserstoff verbinden, würden etwa 14 Grammes Wasserstoff zur Wasserbildung beanspruchen. Den Wärmecoefficienten des Wasserstoffs zu 34,462 angenommen, würde die Verbrennung dieser 14 Grammes also 482,468 Wärmeeinheiten geben, mithin würden durch die Kohlen- und Wasserstoff-Verbrennung im Körper innerhalb 24 Stunden 2,416,668 Wärmeeinheiten erzeugt. Dieses Resultat stimmt annähernd mit dem anderer Forscher.

So berechnete Vierordt aus dem Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt der eingenommenen Nahrungsmengen die Verbrennungswärme im Körper auf: 2,464000 Einheiten, die

Wärmecoefficienten des Wasserstoffes zu 34,460, die des Kohlenstoffes 8080 annehmend, wie das folgende Exempel zeigt:

	Kohlenstoff	Wasserstoff
Eiweißkörper, 120 Grms.	64,18	8,60
Fette 90 „	70,20	10,26
Amylum, 330 „	146,82	—
	281,20	18,86
Abzug der Urin- und Kothbestandtheile	29,8	6,3
zu oxydirender Rest:	251,4	12,56

Der Kohlenstoff würde 2,031,312, der Wasserstoff = 432,818 Calorien geben. Die tägliche Gesammtwärme beliefe sich also rund auf 2,464,000 Calorien, eine Zahl, welche der auf directen Calorimetermessungen begründeten nahe steht. Bringt man den Kohlenstoff und Wasserstoff der stickstoffhaltigen Harnbestandtheile in Abzug, so fallen nur 57,8 Grms. Kohlenstoff und 6,3 Grms. Wasserstoff der Eiweißkörper der Oxydation anheim. Diese bilden 21,700 Calorien, also blos etwa $^1/_{12}$—$^1/_{11}$ der gesammten Körperwärme. Die Kohlenhydrate und Fette sind somit weitaus die wichtigsten Heizmaterialien des Organismus.

Ganz und auf alle Fälle genau ist die obige Rechnung freilich nicht. Die Wärmewerthe sind nach Berechnungen der Werthe bei offener Verbrennung angenommen, dieselben sind aber bekanntlich nicht ganz genau (was ja auch die differirenden Angaben der Experimentatoren beweisen) und sie können auch nicht für alle Fälle ganz genau berechnet werden, denn in welch' verschiedenen Verbindungen z. B. führen wir die einzelnen Brennstoffe als Nahrung in den Körper ein, und in welch' verschiedenen Zusammensetzungen verbrennen sie im Körper. Es ist daher der Wärmecoefficient des Kohlenstoffs im Blute gar nicht sicher zu bestimmen, da die Verbindungen, aus denen er Behufs seiner Oxydation gelöst wird, zu verschiedenartig sind, was stets verschiedene Wärmeverluste zur Folge hat. In jeder anderen Verbindung besitzt Kohlenstoff einen anderen Coefficienten. So bildet [F a v r e und S i l b e r m a n n (s. F i c k, m e d. P h y s. 137.)]

1 Grm.	gewöhnliche Holzkohle	7838
"	Zuckerkohle	3039,8
"	Kohle aus Gasretorten	8047,3
"	Graphit aus Hochöfen	7787,5—7731,1
"	natürl. Graphit . .	7811—7781,7
"	Diamant	7770—7878 Calorien.

So ist bei der Verbrennung von Terpenthinöldampf der erreichte Wärmecoefficient geringer, als der des in ihm verbrannten Kohlenstoff's allein! Wie viel Wärme durch die Verbrennung die Nahrungsmittel zu erzeugen im Stande sind, ist demnach nie mit Präcision festzustellen, und die Werthe werden daher stets ungenau bleiben. Ferner ist zu bedenken, daß nicht die ganze ausgeathmete Kohlensäure das Product der Athmung allein ist, denn bei der einfachen Chymification entsteht schon Kohlensäure, und ebenso ist nicht der ganze in der Kohlensäure enthaltene Sauerstoff der eingeathmete, denn bei der Zersetzung der zusammengesetzten Stoffe in der Verdauung wird auch Sauerstoff frei, der wohl auch bei der Kohlensäurebildung mithelfen muß. Es sind jedenfalls Punkte da, welche das Resultat nicht so ganz genau erscheinen lassen. — Es ist dabei auch gar nicht nöthig, daß das Exempel so genau stimmt, denn im Allgemeinen ist es richtig und man kann sagen: „Die Wärmequellen des thierischen Organismus sind die durch den Stoffwechsel, durch die Nahrungs- und die Sauerstoffs-Zufuhr im Athmungsprocesse bewirkten Verbindungen organischer Molecule mit Sauerstoff, Processe, bei denen diese Molecule in eine geringe Anzahl Stoffe zerlegt werden, deren hauptsächlichste Kohlensäure und Wasser sind, und bei denen stets Wärmebildung stattfindet."

Nehmen wir also als Resultat der verschiedenen Berechnungen an, daß ein erwachsener Mensch im Durchschnitt täglich 2,500,000 Wärmeeinheiten erzeuge, so vertheilen sich die täglichen Verluste derselben (denn in demselben Maße, wie die Wärme gebildet wird, geht sie auch wieder verloren), folgendermaßen:

1. Die mittlere Wassermenge, die täglich auf der Haut verdunstet wird, beträgt ca. 800 Grammes (s. Valentin und Nasse; nach Vierordt ca. 660 Grammes); dieselbe wird die Temperatur der Haut haben, also 34° C.

Die bei dem Verdunsten von Wasserdämpfen gebundene Wärme beträgt nach Regnault pro Gramme 582,78 Einheiten, nach der Formel 606,5 + (0,305 T.) — T., wobei T. die Temperatur der Dämpfe bezeichnet; bei 800 Grammes Wasserdämpfen also rund 465,600 Einheiten Verlust durch die Hautausdünstung innerhalb 24 Stunden. Nasse berechnet genauer = 466296 und Vierordt, der 660 Gramme täglicher Verdünstung annimmt, 364000 Einheiten Verluste.

2. Die Wasserverdunstung aus den Lungen beträgt 330 Grammes pro Tag, welche die Temperatur des Innern des Körpers, 37° C. hat; es beträgt die gebundene Wärme pro Gramme 580,785, also im Ganzen 191,400. —

3. Eine bedeutende Abkühlung der inneren Temperatur findet durch die Erwärmung der eingeathmeten, und durch die Ausstoßung der erwärmten Luft statt. Ein erwachsener Mensch athmet in einer Minute bei 336‴ Barometerstand ca. 6000 Kub.-C. von 11232 Grammes Gewicht aus; diese zu 12° C. eingeathmet und auf 37° C. erwärmt, giebt einen täglichen Wärmeverlust von 72748 Einheiten.

Nasse berechnet 65753 Einheiten, Vierordt nimmt die täglich exspirirte Luft zu 10,000,000 Kub.-Centm. im Gewicht von 13,000 Grammes an. Er erhält dadurch eine Summe von 84500 Einheiten Verlust. (Die Rechnung hierzu ist folgende: Die 11232 resp. 13000 Grammes Luft werden mit der Zahl der Grade, um die sie erwärmt worden sind, und dann mit der Zahl, welche die Wärmecapacität der Luft ausdrückt, multiplicirt. Für die Wärmecapacität des Wassers die Zahl 1 angenommen, ist die der Luft 0,26; der Gesammtverlust beträgt mithin 72748 resp. 845500.

4. Hieraus ist ersichtlich, daß die Resultate aller bisherigen Berechnungen etwas von einander abweichen; noch mehr war dies bisher bei den Berechnungen des Wärme-

verlustes durch Urin und Kothausscheidung der Fall. Bei 3000 Grammes täglicher Nahrung gehen etwa 1900 Grms. durch Urin und Koth wieder aus dem Körper; da diese im Durchschnitt eine Temperatur von circa 12° C. mitbrachten, so bedürfen sie einer Erwärmung um 25° C. um bis auf die Körpertemperatur von 37° C. erwärmt zu werden; es wird also der tägliche Gesammtwärmeverlust durch Urin und Koth auf 25 × 1900 = 47,500 Einheiten anzunehmen sein.

5. Der weitgrößte Wärmeverlust ist der durch die Haut; wir haben aber keine Mittel, ihn direct zu bestimmen, sondern können ihn nur aus der Summe der anderen Wärmeverluste und der Gesammtwärmeabgabe berechnen. Es ist im Vorstehenden die tägliche Wärmebildung, mithin die tägliche Wärmeabgabe auf rund 2,500000 Einheiten angegeben; die Summe der übrigen Wärmeabgaben ist nach meiner Berechnung 777,248 (in runder Summe 777200) Einheiten; es würden also auf die Wärmeausstrahlung der Haut 1,722800 Einheiten kommen.

Annähernd sind die Berechnungen von Nasse, der die tägliche Gesammt-Wärmebildung, mithin die Gesammtabgabe im Körper eines Erwachsenen zu 2,650000 Einheiten, die Summe der durch Hautdünstung, Lungendünstung, Wärmeabgabe durch die ausgeathmete Luft, den Koth und Urin ausgegebene Wärme auf 773,775, die durch die Haut täglich ausgestrahlte also auf 1,87,6225 bestimmt hat, — die von Barral, der die Gesammtabgabe zu 2,637,225, die durch die vier erstgenannten Wege stattfindende Abgabe zu 898,984 berechnete, nach welcher Bestimmung auf die Hautausstrahlung 1,738,241 Einheiten kommen, und die von Vierordt, der die tägliche Wärmeabgabe ebenfalls, wie in meiner Berechnung geschehen, zu $2^1/_2$ Millionen Einheiten, die durch die vier obigen Wege ausgeschiedenen Wärmeeinheiten auf 677,500 bestimmt, den durch die Hautausstrahlung herbeigeführten Verlust also zu 1,822,500 (Nasse in Wagner's Hdwb. IV. S. 73. Vierordt, Phys. S. 245.) annimmt. Nach diesem Letzteren würden die Procentsätze der Wärmeverluste also sein:

durch die Haut	87,5	73,0	durch Strahlung,
		17,5	durch Verdünstung.
durch das Athmen	10,7	7,2	durch Verdünstung.
		3,6	durch Erwärmung.
durch Urin und Koth	1,8		
	100		

Nach den von mir oben angenommenen Wärmeverlustresultaten stellt sich die Vertheilung von 100 abgegebenen Wärmeeinheiten auf die fünf Ausfuhrwege derart, daß

68,95	auf	die	Ausstrahlung durch die Haut,
18,6	„	„	Verdünstung durch die Haut,
7,6	„	„	Wasserverdünstung d. d. Lungen,
2,95	„	„	Erwärmung der eingeathmeten Luft,
1,9	„	„	Wärmeabgabe durch Urin und Koth

in Summa 100 kommen.

Dies sind die normalen Verhältnisse bei Erwachsenen. Nach der Individualität treten in diesen Zahlen natürlich Schwankungen ein; Geschlecht, Alter und Lebensweise bedingen ihre eigenen Aenderungen; über die Wärmedifferenz in beiden Geschlechtern sind noch wenig entscheidende Messungen gemacht; im Allgemeinen jedoch kann man theoretisch annehmen, daß der weibliche Theil menschlicher Erdenbewohner sich eine etwas niedrigere Körperwärme bildet, als der männliche; Barral berechnete die Verbrennungswärme des Mannes um 40% höher, als die des Weibes. Der Verlust durch Verdunsten und Athmen im Verhältniß zu der Abgabe durch Ausstrahlung scheint bei der Frau geringer, als beim Mann, doch ist dies wahrscheinlich keine Folge der Organisation, sondern der Lebensweise. Der Fötus, der von der Mutter ernährt wird, kann nur eine geringe Eigenwärme entwickeln, er hat aber auch nur eine schwache Wärmebildung nöthig, da er, ganz und gar von warmen Theilen der Mutter umgeben, auch nur geringe Wärmeverluste erleidet. Nach der Geburt steigt die selbstständige Wärmeentwickelung, doch im ersten Anfang nur langsam, da die Lungen noch wenig functioniren, eine geringe Verbren-

nung stattfindet und diese einen geringen Nahrungsverbrauch bedingt.

Bald jedoch entwickeln die Organe lebhaftere Functionen, das Resultat ihrer Arbeit wächst, die Körperwärme und die Widerstandsfähigkeit gegen die Außentemperatur werden größer. Die Eigenwärme erreicht jetzt ihre höchste Höhe, von der sie später wieder herabsinken muß, um auf den für die längste Zeit des Lebens constanteren Grad zu kommen. Bei einem sechsjährigen Knaben übertrifft die Körperwärme auf gleiche Gewichtstheile die des Mannes um $^1/_3$, die der Frau fast um das Doppelte; die Abgabe wird so eine größere, namentlich der Verlust durch Verdünstung. Mit dieser Erscheinung steht auch der tägliche Nahrungsverbrauch in geradem Verhältnisse; das Kindersalter assimilirt verhältnißmäßig am stärksten.

Wenn der Körper seine volle Ausbildung erlangt hat, sinkt die Energie des Athmens, die Höhe des Nahrungsbedürfnisses, und mit ihnen die Körpertemperatur, dann aber bleibt sie lange Zeit hindurch constant. Im höheren Alter, der Zeit der Rückbildung, verringert sich der Wärmebildungsproceß mehr und mehr, da aber die Hauttemperatur durch die Abnahme der Menge des zugeführten Blutes sinkt, und die Haut trocken und dichter wird, ist der Wärmeverlust durch Verdünstung ein geringerer; die Hauttemperatur ist eine kühlere, die Innenwärme bleibt jedoch dieselbe. Nach Valentin und v. Baerensprung steigt sogar die Temperatur des Greises auffallender Weise bis fast zu demselben Werthe, wie ihn das Kindesalter zeigt. —

Wir haben den Wärmebildungsproceß durch das Thierreich verfolgt und bei Pflanzen untersucht, und nachgewiesen, daß er von dem Athmungsproceß, der Wasserstoff- und Kohlenstoffverbrennung im Körper abhängig ist.

Es giebt im thierischen Körper noch einige andere Wärmequellen, als die Athmung. Es ist dies die Wärmebildung in Drüsen bei der Secretion und in Muskeln bei Thätigkeit derselben; es entsteht aber hier, wie bei der Athmung, die Wärme auch wiederum in Folge einer Oxydation. In den Drüsen

ist der Sauerstoffverbrauch ein großer, und daher die Wärme-entwickelung eine lebhafte, da die Oxydationsproducte (Secrete) fortwährend fortgeführt und neugebildet werden.

Bei erhöhter Muskelthätigkeit entwickelt sich in den Muskeln eine erhöhte Wärme. Nach Becquerel und Breschet steigt die Temperatur des Musc. biceps brachii während anhaltender Thätigkeit um 1°, und wird nach Ziemssen selbst die über arbeitenden Muskeln liegende Haut temperirt. Daß diese Wärmebildung wieder nur Folge eines Oxydationsprocesses ist, ersieht man daraus, daß der Muskel in der Thätigkeit lebhaft Sauerstoff verbraucht und Kohlensäure ausscheidet.

Als einzige Quelle der Wärme können wir nach diesen Ergebnissen nur die chemischen Processe, eigentlich sogar nur den Oxydationsproceß betrachten.

Doch weiter. — Wenn man einen auspräparirten Froschmuskel, an dessen unterem Ende ein Gewicht befestigt ist, zu einer Reihe Verkürzungen reizt, so hebt derselbe bei jeder folgenden Verkürzung in Folge Ermüdung das Gewicht weniger und die Temperatur-Steigerung des Muskels wird immer geringer, und zwar nimmt sie nach Heidenhein schneller ab, als die mechanische Arbeitsleistung. Die Temperatur-Steigerung eines Muskels ist nach Beclard größer, wenn er nur in Spannung geräth, ohne mechanische Arbeit zu verrichten, als wenn er solche leistet. Es geht hieraus hervor, daß zwischen der Arbeitsleistung und Wärmebildung eines Muskels ein bestimmtes Verhältniß obwaltet.

Ein solches Verhältniß findet auch in der Gesammt-Production der Arbeit und der Wärme des ganzen thierischen Körpers statt.

Bewegung und Arbeit bewirken einen größeren Sauerstoffverbrauch, eine größere Verbrennung, es steht jedoch die gebildete Wärme nicht im Verhältniß zu dem Sauerstoffverbrauch; es wird bei jeder Arbeit ein Theil Sauerstoff definitiv verbraucht, ohne zur Wärmeerhöhung gedient zu haben. Wenn wir in einem Calorimeter eine Arbeit verrichten und die zur Erwärmung der Umgebung verwandte Wärme mit dem Werthe vergleichen, der dem Sauerstoffverbrauch entsprechen

würde, so erhalten wir ein der vollendeten Arbeit entsprechendes Deficit: „An Stelle der Wärme ist Arbeit geleistet.“ — Wir wollen versuchen, diesen Vorgang klar zu machen:

Es ist allgemein bekannte Thatsache, daß Wärme das Quecksilber im Thermometer ausdehnt. Diese Ausdehnung beruht in einer Bewegung von Massen und einer Ueberwindung von Widerständen, d. h. also in einer von der Wärme geleisteten Arbeit. Dr. Mayer in Heilbronn hat nun bewiesen, daß eine bestimmte Wärmemenge eine bestimmte Arbeitssumme zu liefern im Stande ist, er hat gezeigt, daß dieselbe Wärmemenge, die ein bestimmtes Gewicht, z B. ein Kilogramm Wasser, um 1° C. erwärmte, im Stande ist, dasselbe Gewicht um 424 Meter zu heben, hier also einem Werthe von 424 Kilogrammmetern entspricht, und umgekehrt, daß 424 Kilogrammmeter nöthig sind, um 1 Kilogr. Wasser um 1° C. zu erwärmen.

Es entspricht mithin einer Wärmeeinheit ein gewisser Nutzeffect; das mechanische Aequivalent der Wärme, und weiter gehen Wärme und Arbeit, oder Wärme und Bewegung so vollständig in einander über, daß wir die Wärme für nichts anders, als für eine bestimmte Bewegung erklären können. Je größer die Schwingungsgeschwindigkeiten der kleinsten Theile eines Körpers, desto höher ist seine Temperatur. —

So stellt sich die Bezeichnung von Helmholz „Bewegungswärme“ als eine überaus treffende dar.

Und was ist die Gesammtthätigkeit des Organismus weiter als eine fortwährende Bewegung seiner kleinsten Theile? Es ist ein immerwährender Stoffwechsel, es ist eine ununterbrochene Reihe chemischer Processe, in jedem Augenblicke den Körper ändernd, Neues für Altes einsetzend. Bei jeder neuen im Körper sich schließenden chemischen Verbindung zweier bisher in Spannung gewesener Molekule, tritt 1. ein Gleichgewicht ein, mithin wird für Spannkraft Wärme frei, 2. wird Bewegung bestimmter äußerer, Widerstand leistender Massen bewirkt, also Arbeit. Diese Leistung der chemischen Processe kann sich, da ihre Gesammtleistung ja stets dieselbe sein muß, daher nur so stellen, daß, je mehr Wärme gebildet wird, desto

geringer auch die äußere geleistete Arbeit sein muß, und umgekehrt, je größer die geleistete Arbeit ist, desto geringer wiederum die gebildete Wärme sein wird; in der der chemischen Thätigkeit entsprechenden Summe der Effecte muß der fehlenden Wärme die Arbeit äquivalent sein.

Ein ruhender Mensch giebt Wärme ab, der arbeitende liefert Wärme und Arbeit. Wenn wir den täglichen Nutzeffect eines mittleren Arbeiters in runder Summe mit 200,000 Kilogrammmetern annehmen, die in 24 Stunden gebildete Wärme auf 2,500,000 Calorieen festgestellt hatten, so tritt, da den 2,500,000 Calorieen ein mechanisches Aequivalent von 2500 Kilogr. $\times$ 424 Metern entspricht, (also 1,060,000 Kilogrammmetern) etwa $^1/_6$ der durch den Umsatz der Körperbestandtheile bedingten Verausgabungen in Form von nach Außen geleisteter Arbeit auf. Bei der Arbeit ist der Stoffverbrauch des Körpers größer, dadurch die erhöhte Wärme und Arbeitsleistung ermöglicht. Ueberanstrengungen sind daher mit größerem Stoffverlust verbunden, und machen eine um so größere Erholung, um so stärkeren Ersatz nöthig; anhaltende Ueberanstrengungen können daher aus erklärlichen Gründen nur auf Kosten der Gesundheit, resp. des Körpers, geleistet werden.

Wir sahen, welche wichtige Factoren bei der Wärmebildung des Körpers die Hautthätigkeit und das Blut, — von Mayer treffend eine langsam brennende Flüssigkeit genannt — bildeten. Die Haut bildete den bedeutendsten Compensator. Es werden also naturgemäß Veränderungen durch Störung der Hautdünstung, durch die Beschaffenheit des Blutes und durch Eingriffe in die die Körperprocesse regelnde Nervensphäre hervorgerufen. Unterdrückung der Hautausdünstung vermindert den Verbrennungsproceß und setzt deshalb die Temperatur herab. Unterbindungen von Arterien vermindern in den betroffenen Theilen die Wärme; Injectionen von fremden Flüssigkeiten in die Venen erhöhten meist die Temperatur des Körpers. Verletzungen im Central-Nervensystem verursachen in der Regel anfangs ein Herabgehen, nachher ein Steigen der Temperatur, oft viele Grade über die Normalhöhe; andrerseits ist ein Sinken